Agricultura Técnica en México Vol. 32 Núm. 2 Mayo-Agosto 2006 p. 201-211

DISTRIBUCIÓN DE LA PUNTA MORADA Y *Bactericera cockerelli* Sulc. EN LAS PRINCIPALES ZONAS PRODUCTORAS DE PAPA EN MÉXICO*

DISTRIBUTION OF POTATO PURPLE TOP AND *Bactericera cockerelli* Sulc. IN THE MAIN POTATO PRODUCTION ZONES IN MEXICO

Oswaldo Ángel Rubio Covarrubias[1], Isidro Humberto Almeyda León[2], Javier Ireta Moreno[3], José Alfredo Sánchez Salas[4], Rogelio Fernández Sosa[5], José Trinidad Borbón Soto[6], Carlos Díaz Hernández[1], José Antonio Garzón Tiznado[7], Ramiro Rocha Rodríguez[8] y Mateo Armando Cadena Hinojosa[9§]

[1]Programa Nacional de Papa, Campo Experimental Toluca, INIFAP. Conjunto SEDAGRO, Domicilio conocido. 52140, Metepec, Estado de México, México. [2]Campo Experimental General Terán, INIFAP. [3]Campo Experimental Centro de Jalisco, INIFAP. [4]Campo Experimental Saltillo, INIFAP. [5]Campo Experimental Tlaxcala, INIFAP. [6]Campo Experimental Valle del Mayo, INIFAP. [7]Campo Experimental Valle de Culiacán, INIFAP. [8]Campo Experimental Bajío, INIFAP. [9]Campo Experimental Valle de México, INIFAP. [§]Autor para correspondencia: machgg2@yahoo.com.mx

RESUMEN

Los síntomas de la punta morada son provocados por fitoplasmas, cuyos vectores son varias especies de chicharritas (Homoptera: Cicadelidae) y el psílido de la papa *Bactericera cockerelli* Sulc. (Hemiptera: Triozidae). Síntomas similares pueden ser ocasionados por una toxina que el psílido de la papa inyecta al alimentarse en el floema de la planta. Con el objeto de evaluar la importancia y distribución de la punta morada de la papa y de sus vectores, en 2001 se realizó un muestreo de plantas que presentaban los síntomas de la enfermedad en las principales zonas productoras de papa en México. En cada área seleccionada se colocaron trampas amarillas con pegamento para capturar especímenes de *B. cockerelli* y de chicharritas. Las plantas seleccionadas fueron sometidas a un análisis de fitoplasmas con la técnica de la Reacción en Cadena de la Polimerasa. Se encontraron los siguientes porcentajes de muestras positivas: Estado de México 29%, Coahuila-Nuevo León 50%, Tlaxcala 17%, Guanajuato 31%, Jalisco 75% y Sonora 10%. *B. cockerelli* y chicharritas estuvieron presentes en todas las zonas paperas, con excepción de Tapalpa, Jalisco, en donde no se encontró *B. cockerelli* y la población de chicharritas fue baja. Las altas poblaciones de los insectos vectores de la punta morada, en la mayor parte de las zonas productoras de papa, y los altos porcentajes (10-75%) de las muestras encontradas con fitoplasmas en las áreas de estudio indican la importancia que tiene este problema para la producción de papa en México.

Palabras clave: *Solanum tuberosum* L., *Paratrioza*, fitoplasma, psílido de la papa.

ABSTRACT

Symptoms of potato purple top are caused by phytoplasmas transmitted by leafhoppers (Homoptera: Cicadelidae) and the potato psyllid *Bactericera cockerelli* Sulc. (Hemiptera: Triozidae). Similar symptoms may also be caused by a toxin that the potato psyllid injects when it is feeding from the phloem sap. To determine the importance and distribution of the potato purple top disease in Mexico, a field sampling was conducted in 2001 in the main potato producing areas. In each area, plants with the disease symptoms were sampled to investigate the presence of phytoplasmas by using the polymerase chain reactions

* Recibido: Junio de 2005
Aceptado: Junio de 2006

technique. Yellow sticky insects traps were installed in each potato producing area and trapped leafhoppers and *B. cockerelli* counted. The percentages of the plant samples that were positive in each potato area were: State of Mexico 29%, Coahuila-Nuevo Leon 50%, Tlaxcala 17%, Guanajuato 31%, Jalisco 75% and Sonora 10%. Leafhoppers were present in most of the potato regions, only in the high lands of Tapalpa, Jalisco area the leafhopper populations was low and *B. cockerelli* was not found. The high population of the disease vectors found in most potato producing areas in Mexico and the high percentages (10-75%) of the plant samples infected by phytoplasmas indicate their importance on restraining the potato production in Mexico.

Key words: *Solanum tuberosum* L., *Paratrioza*, phytoplasma, potato psyllid.

INTRODUCCIÓN

La enfermedad conocida como punta morada de la papa (PMP), causada por fitoplasmas, es de importancia mundial ya que afecta cultivos en América, Europa, Asia y Australia (Maramorosch, 1998). Los síntomas de la PMP se observaron en México desde 1948 y en los últimos 10 años se ha visto un incremento acelerado de la enfermedad, especialmente en la región centro del país (Cadena *et al*., 2003). Los síntomas de la PMP se caracterizan por un achaparramiento de la planta, abultamiento del tallo en los lugares de inserción de las hojas, formación de tubérculos aéreos y una decoloración en las hojas superiores, las cuales tienden a tornarse moradas en algunas variedades. Los tubérculos provenientes de plantas con síntomas de PMP desarrollan un pardeamiento interno y generalmente no brotan, o si lo hacen, sus brotes son muy delgados o ahilados. Se ha demostrado que los síntomas descritos previamente pueden estar asociados con la presencia de fitoplasmas (Almeyda *et al*., 1999; Maramorosch, 1998; Cadena *et al*., 2003) y con el efecto de una posible toxina inyectada a las plantas por el psílido de la papa *Bactericera cockerelli* Sulc. (Hemiptera: Triozidae) también conocida como *Paratrioza cockerelli* Sulc. (Arslan, 1985; UC, 1986; Asscherman *et al*., 1996). Sin embargo, esa "toxina" nunca ha sido aislada y el desorden metabólico pudiera ser debido a la posible presencia de metabolitos producidos por las ninfas del insecto e introducidos por éste al momento de alimentarse.

El psílido de la papa se encuentra ampliamente distribuido en México y en Estados Unidos de América. De acuerdo a Cranshaw (1993), desde 1920 se detectaron los problemas ocasionados por el psílido de la papa en EE. UU. y actualmente está distribuido en los estados de Minnesota, Dakota del Norte, Dakota del Sur, Nebraska, Kansas, Oklahoma, Texas y en todos los estados del oeste americano, excepto Oregon y Washington. En México *B. cockerelli* ataca a la papa y al jitomate, especialmente en el estado de Guanajuato, y su importancia puede estar ligada a su función como vector de una enfermedad viral conocida como "Permanente del tomate" (Garzón *et al*., 1992). Otros lugares en los que también ha ocasionado fuertes daños en el cultivo de jitomate son en el estado de California en EE. UU. y Baja California en México (Cranshaw, 1993).

Los fitoplasmas causantes de la PMP son transmitidos por varias especies de chicharritas (Homoptera: Cicadelidae). Entre las especies citadas se encuentran *Macrosteles orientalis, M. fascifrons, M. striifrons, Scleroracus flavopictus, Orosius albicinctus, Alebroides dravidamus* (Maramorosch, 1998). En Estados Unidos de América, se ha comprobado la importancia de dos especies de chicharritas (*Circulifer tenellus* y *Ceratagallia* spp.), como vectores de fitoplasmas (Munyaneza, 2005). En México, en los estados de Nuevo León y Coahuila, se detectó la presencia de fitoplasmas en chicharritas de los géneros *Empoasca y Aceratagallia* (Almeyda *et al*., 2004). Otros estudios conducidos en México han permitido comprobar que el psílido de la papa *B. cockerelli* también es vector de los fitoplasmas causantes de la PMP (Garzón *et al.*, 2004).

El uso de técnicas moleculares ha permitido distinguir siete diferentes tipos de fitoplasmas asociados con la PMP en Estados Unidos, Japón y Malasia (Okuda *et al*., 1997). En México se ha detectado la presencia de al menos dos tipos de fitoplasmas asociados con los síntomas de la PMP (Almeyda *et al*., 1999; Leyva *et al*., 2002).

En México se han hecho estudios para el control de la punta morada de la papa causada por fitoplasmas incorporando resistencia genética a las variedades, utilizando insecticidas y aplicando diversas prácticas culturales (Cadena y Galindo, 1985; Cadena, 1987; Cadena, 1999), también se han implementado métodos para el diagnóstico de los fitoplasmas utilizando la técnica

de Reacción en Cadena de la Polimerasa (PCR) (Almeyda *et al*., 1999; Almeyda *et al.*, 2001; Cevallos *et al.*, 2001; Leyva y Martínez, 2001a; Leyva y Martínez, 2001b).

En la actualidad, el control de *B. cockerelli* y de chicharritas se basa principalmente en el uso de insecticidas. Los productores de papa de algunas regiones en México realizan hasta 30 aplicaciones de insecticidas durante el ciclo del cultivo, esto incrementa los costos de producción y representa un riesgo de contaminación ambiental y de daño directo al hombre.

La información anterior indica la presencia de fitoplasmas y de sus vectores en el cultivo de papa en México, así como la dificultad para el control de la PMP. Tomando en cuenta lo anterior, se planteó el presente estudio que tuvo como objetivo verificar la distribución e importancia de los fitoplasmas asociados con la punta morada de la papa y de *B. cockerelli* en las principales áreas productoras de papa en México. El énfasis en el psílido de la papa se debe a que de antemano se conoce la amplia distribución de diversas especies de chicharritas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Muestreo de plantas

Durante el ciclo vegetativo de la papa, en el 2001 se hicieron recorridos de campo por las principales zonas productoras: Valle de Toluca, Estado de México; Arteaga, Coahuila; San Rafael, Nuevo León; Tapalpa, Jalisco; León, Guanajuato; Sierra de Emiliano Zapata, Tlaxcala y Navojoa, Sonora. La información de los estados de Coahuila y Nuevo León se reporta como una sola región por su colindancia geográfica y por su similitud en condiciones climáticas y de manejo del cultivo. En estos recorridos se tomaron muestras de plantas con síntomas de la PMP como son: amarillamiento y coloración morada en las hojas apicales, abultamiento del tallo en la inserción de las hojas, entrenudos cortos y formación de tubérculos aéreos. Los sitios estudiados en cada región fueron lotes de productores comerciales, por lo que el manejo agronómico de cada lote se hizo de manera independiente. La parte basal de los tallos de las plantas enfermas fue refrigerada y enviada al laboratorio para el análisis de fitoplasmas. El total de muestras fue de 71 plantas procedentes de las diversas regiones.

Muestreo de psílidos y chicharritas

La población de estos dos grupos de insectos durante el ciclo vegetativo de la papa se obtuvo mediante su captura en trampas amarillas pegajosas de 20 x 20 cm, clavadas en estacas de 60 cm y colocadas en los bordes de lotes comerciales de papa que fueron manejados conforme lo hacen los agricultores. En Navojoa, las trampas se colocaron en el cultivo de papa y en las orillas de cultivos como jitomate (*Lycopersicum esculentum* Mill.), tomate de cáscara o tomatillo (*Physalis ixocarpa* Brot.) y chile (*Capsicum annuum* L.). El número de sitios visitados fueron: uno en el Estado de México, dos en Tlaxcala, tres en Jalisco, cinco en Coahuila-Nuevo León y 13 en Sonora. Los sitios de muestreo estuvieron dentro de las mismas áreas productoras de papa en las que se realizó la selección de plantas enfermas. De acuerdo con los recursos disponibles, en cada sitio se colocaron de una a seis trampas, las cuales se cambiaron semanalmente o con menor frecuencia si se encontraban limpias. En cada trampa se contó el número de chicharritas y de *B. cockerelli* capturados durante todo el ciclo vegetativo de la papa. Las chicharritas no fueron separadas por especie, sólo se contó el número total de ellas; en todos los sitios visitados fue posible identificar la presencia de *Macrosteles* spp., *Empoasca* spp. y *Aceratagallia* spp.

Las trampas amarillas pegajosas sirvieron para capturar insectos adultos de *B. cockerelli* y las ninfas se muestrearon en las plantas al final de su ciclo vegetativo. Para ello, en cada sitio de muestreo se localizaron 10 plantas de papa en las que hubiera ninfas de *B. cockerelli,* se contó la totalidad de ninfas en cada planta y con estos datos se calculó el promedio de ninfas por planta por sitio.

En los dos sitios con mayor población de insectos, uno en Metepec en el Valle de Toluca, Estado de México y otro en el ejido El Cristal, San Rafael, N. L., se determinó la dinámica poblacional de chicharritas y de *B. cockerelli* dentro de parcelas de papa que fueron manejados en forma comercial con aplicaciones semanales de insecticidas. Las trampas amarillas pegajosas de estos dos sitios se cambiaron semanalmente y en ellas se contó el número de chicharritas y de insectos adultos de *B. cockerelli* capturados. En la parcela de Metepec, cada semana se seleccionaron al azar 10 plantas y en ellas se contó el número de ninfas de *B. cockerelli* presentes en toda la planta.

Además de la información obtenida durante el ciclo vegetativo de la papa, se hicieron observaciones sobre la presencia del psílido de la papa en plantas hospederas que crecieron fuera de la época de desarrollo del cultivo.

Detección de fitoplasmas causantes de la PMP

La detección de fitoplasmas se realizó mediante la amplificación de secuencias específicas del ADN, con la técnica de la Reacción en Cadena de la Polimerasa (PCR), de manera directa y en la modalidad de PCR secuencial, también conocida como "PCR anidado" o "Nested-PCR" (Almeyda, 1997). La PCR directa consiste en un solo ciclo de amplificaciones utilizando los iniciadores P1/P7 (Smart *et al*., 1996). En la PCR secuencial se realizaron dos ciclos de amplificaciones: en el primero se utilizaron los iniciadores P1/P7 y en el segundo se utilizaron los pares de iniciadores R16mF2/R16mR1 (Gundersen y Lee, 1996) y R16F2/MMR (Lee *et al.*, 1993; Almeyda *et al*., 1998). Las reacciones en cadena se conformaron en tubos Eppendorf de 0.5 mL, en un volumen total de 25µL, que contenía 50 ng de ADN, 12.5 pmoles de cada iniciador, 2 mM de $MgCl_2$, 200 µM de nucleótidos trifosfatados (dNTP´s), solución amortiguadora para PCR al 1X y 1.5 unidades de *Taq* ADN polimerasa (GIBCO BRL, Inc., Gaithersburg, Maryland, USA). Las muestras se cubrieron con 25 µL de aceite mineral estéril. Las reacciones de amplificación se realizaron en un termociclador Mini CyCler™ MJ Research. Para los iniciadores P1/P7 las condiciones de las reacciones fueron las siguientes: un ciclo con temperatura de desnaturalización de 94 °C por 2 min; 35 ciclos con temperatura de desnaturalización de 94 °C por 1 min, temperatura de apareamiento de 50 °C por 1 min, temperatura de polimerización de 72 °C por 2 min y un ciclo final de 72 °C por 10 min. Para los iniciadores R16mF2/R16mR1, las condiciones de las reacciones fueron las siguientes: un ciclo con temperatura de desnaturalización de 94 °C por 2 min; 35 ciclos con temperatura de desnaturalización de 94 °C por 1 min, temperatura de apareamiento de 60 °C por 1 min, temperatura de polimerización de 72 °C por 1.5 y un ciclo final de 72 °C por 10 min. Para los iniciadores R16F2/MMR, las condiciones de las reacciones fueron las siguientes: un ciclo con temperatura de desnaturalización de 94 °C por 2 min; 35 ciclos con temperatura de desnaturalización de 94 °C por 1 min, temperatura de apareamiento de 55 °C por 1 min, temperatura de polimerización de 72 °C por 0.5 min y un ciclo final de 72 °C por 10 min. Los productos de PCR se fraccionaron en geles de agarosa al 1.5%, se tiñeron con bromuro de etidio (0.5 µg mL^{-1}) y se visualizaron bajo luz ultravioleta.

Obtención de datos climatológicos

De acuerdo con la disponibilidad de la información climatológica (IMTA, 2005), se seleccionó la estación climatológica más cercana y los datos de altitud, precipitación y temperatura media se utilizaron para caracterizar cada área.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Detección de fitoplasmas

La amplificación secuencial fue exitosa para la detección de los fitoplasmas asociados con la punta morada en las muestras de papa (Figura 1), sin embargo, al llevar a cabo la amplificación directa, los resultados fueron inconsistentes, ya que sólo en algunas muestras se logró detectar a los fitoplasmas. Los resultados obtenidos concuerdan con lo reportado por Andersen *et al*. (2001), quienes señalaron que sólo en algunas muestras de plantas de col (*Brassica oleracea* L.) infectadas por *Candidatus* Phytoplasma Australiense se detectó el ADN del patógeno con PCR directa, mientras que todas las muestras de plantas infectadas resultaron positivas al utilizar PCR secuencial.

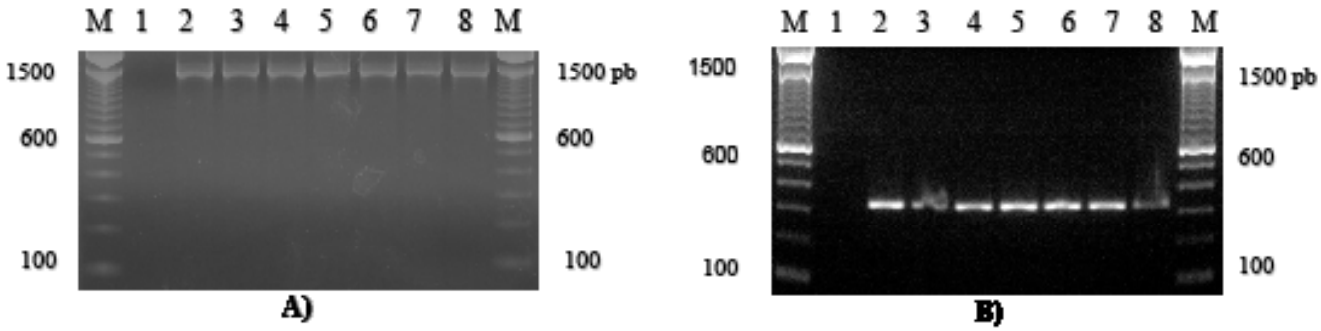
Distribución de chicharritas, *B. cockerelli* y fitoplasmas

En el Estado de México el 29% de las muestras de plantas enfermas resultaron positivas a la presencia de fitoplasmas (Cuadro 1), encontrándose también cantidades relativamente altas del psílido (35 ninfas/planta) y de chicharritas (75/trampa). La cantidad de ninfas de *B. cockerelli* observadas puede ser suficiente para causar problemas metabólicos en la planta, ya que se ha reportado que desde una (Carter, 1950) hasta 25 ninfas por planta (Schaal, 1938), son suficientes para causar los síntomas de toxicidad, aunque en esos estudios no se hicieron análisis de fitoplasmas en las plantas, por lo que existe la posibilidad de que los psílidos, aún en pequeñas cantidades, hayan transmitido los fitoplasmas que causan los síntomas de la PMP. La cantidad de chicharritas y de

psílidos observados en el Estado de México fue alta si se considera la gran movilidad de los insectos adultos, los cuales tienen la habilidad de alimentarse de distintas plantas.

En Coahuila y Nuevo León también se capturaron altas poblaciones de chicharritas y psílidos y se encontró un alto porcentaje (50%) de plantas positivas a fitoplasmas. Es conveniente señalar que en esta misma región se han encontrado los fitoplasmas causantes de la PMP dentro del psílido de la papa y también en chicharritas de los géneros *Empoasca* y *Aceratagallia* (Almeyda *et al*., 2004), los cuales estuvieron presentes en los insectos atrapados por medio de trampas amarillas pegajosas.

En Guanajuato se detectó que el 31% de las muestras contenían el fitoplasma causante de la PMP (Cuadro 1). En esta región no se obtuvo información sobre la fluctuación poblacional de adultos de *B. cockerelli* porque no se colocaron trampas amarillas pegajosas, sin embargo,



Línea M= Marcador de peso molecular Ladder 100; Línea 1= Muestra de papa sana; Línea 2= Muestra colectada en Tlaxcala; Línea 3= Muestra colectada en Guanajuato; Línea 4= Muestra colectada en Jalisco; Línea 5= Muestra colectada en Sonora; Línea 6= Muestra colectada en el Estado de México; Línea 7= Muestra colectada en Coahuila; Línea 8= Muestra colectada en Nuevo León.

Figura 1. Fragmentos obtenidos por amplificación secuencial usando en un primer ciclo de amplificación los iniciadores P1/P7 y en un segundo ciclo de amplificación diferentes iniciadores, así como ADN de papa sana y con síntomas típicos de infección por fitoplasmas. A) P1/P7 + R16mF2/R16mR1. B) P1/P7 + R16F2/MMR.

Cuadro 1. Número de insectos adultos (chicharritas y *Bactericera cockerelli* Sulc.) capturados durante el ciclo de cultivo de la papa, número de ninfas de *B. cockerelli* por planta al final del ciclo del cultivo y resultados del diagnóstico de fitoplasmas en las muestras de plantas con síntomas de punta morada de la papa.

Estado	No. de trampas	No. de chicharritas por trampa	No. de adultos *B. cockerelli* por trampa	No. de ninfas de *B. cockerelli* por planta	No. de plantas	No. de muestras con fitoplasmas	% de muestras con fitoplasmas
Estado de México	3	75	12	35	21	6	29
Coahuila y Nuevo León	10	30	48	40	10	5	50
Tlaxcala	7	25	0	10	6	1	17
Guanajuato	*	*	*	60	16	5	31
Jalisco	9	3	0	0	8	6	75
Sonora	13	84	16	0	10	1	10

* No se colocaron trampas

durante el muestreo de plantas se pudo determinar la presencia de 60 ninfas por planta en lotes de papa con un deficiente control de insectos.

En Sonora se capturaron durante el ciclo del cultivo un promedio de 84 chicharritas y 16 adultos de *B. cockerelli* por trampa, sin embargo, no se observaron ninfas de *B. cockerelli* en el follaje de las plantas de papa y coincidentemente el porcentaje de las plantas que resultaron positivas en el análisis de fitoplasmas fue bajo (10%). Estos resultados en Sonora difieren de los obtenidos en otras regiones, en las que el psílido de la papa fue detectado en sus estadios ninfales en el envés de las hojas inferiores y en su estado adulto en las trampas amarillas. En Sonora se colocaron trampas en cultivos de jitomate, tomate de cáscara y chile, capturándose adultos de *B. cockerelli*, lo cual confirma la capacidad del insecto para alimentarse de otras solanáceas.

El área con menor población de chicharritas (tres por trampa durante todo el ciclo vegetativo del cultivo) fue Jalisco (Cuadro 1). En esta zona papera no se encontraron ninfas ni adultos de *B. cockerelli* y fue difícil encontrar plantas con síntomas de PMP, ya que sólo en 1% de los lotes se encontraron plantas con los síntomas de PMP.

En los dos sitios de la Sierra de Tlaxcala no se encontraron psílidos, sólo se capturaron chicharritas; sin embargo, en las inspecciones de campo realizadas en sitios diferentes a los lugares donde estaban las trampas se encontraron plantas que tuvieron 10 ninfas de *B. cockerelli.* En los dos años anteriores se observaron incidencias más altas de *B. cockerelli*, probablemente debido a que esos años fueron más secos y por lo tanto más favorables para el desarrollo del psílido de la papa.

En el total de las áreas estudiadas, el 34% de las plantas con síntomas de PMP resultaron positivas a la presencia de fitoplasmas. Las plantas que presentaban síntomas de PMP, pero que no estaban infectadas por fitoplasmas probablemente presentaban los síntomas de la toxicidad causada por *B. cockerelli* o estaban enfermas por otros agentes causales como son Rhizoctonia, Fusarium y Verticillium. Los síntomas causados por *B. cockerelli* han sido observados por varios investigadores (Arslan, 1985; UC, 1986; Asscherman *et al*., 1996) y han sido descritos en forma similar a los causados por fitoplasmas. De acuerdo con la información presentada por Asscherman *et al*. (1996), los síntomas causados por los hongos *Rhizoctonia*, *Fusarium* y *Verticillium* pueden ser fácilmente confundidos con los causados por los fitoplasmas, debido a que todos estos microorganismos patógenos afectan los vasos conductores de las plantas y consecuentemente su expresión sintomática puede ser similar. En información reciente (Secor, G., comunicación personal), otro microorganismo que ha sido detectado en algunas plantas con síntomas similares a los de la PMP en Estado Unidos de América, es la bacteria *Xillela fastidiosa*. En México aún no se realizan estudios que confirmen la presencia de este patógeno en las plantas de papa con síntomas de PMP.

El análisis integrado de la información climática (Cuadro 2), de las poblaciones de insectos y del análisis de fitoplasmas (Cuadro 1) denota que hubo mayor población de insectos en los lugares con alta temperatura y menor precipitación. Coincidentemente, en el Estado de México, Coahuila, Nuevo León, Tlaxcala y Guanajuato, la presencia de fitoplasmas en las plantas estuvo en relación directa con la población de insectos. Sin embargo, en Tapalpa, Jalisco y Navojoa, Sonora, no se observó una relación definida. En el caso de Tapalpa, el lugar con mayor precipitación, la población de insectos puede ser baja debido a la alta precipitación, aunque el porcentaje de plantas con fitoplasmas fue alto (75%). Anteriormente se explicó la dificultad para encontrar plantas con síntomas de PMP; además, existe la posibilidad que semilla infectada con fitoplasmas fue traída de otras regiones. Es importante señalar que en la zona agrícola de Sayula, aproximadamente a 30 km hacia el sur de Tapalpa, se detectaron altas poblaciones (hasta 60 ninfas por planta) de *B. cockerelli* en un lote comercial de chile. Sayula está a 1400 msnm, tiene menor precipitación y mayor temperatura que la región papera de Tapalpa, que se encuentra entre 1800 y 2100 msnm. Esta situación sugiere la preferencia del insecto por climas más cálidos que Tapalpa.

En el caso de Navojoa, Sonora, la región con la temperatura media más alta, los cultivos hospederos de *B. cockerelli* que se producen simultáneamente en esta región pueden explicar parcialmente la presencia del insecto en las trampas pero no en las plantas de papa. Aunque también es posible que los adultos atrapados fueran los primeros en llegar al área de muestreo y que se requiriera más tiempo para que las ninfas fueran

Cuadro 2. Información climatológica de estaciones representativas ubicadas dentro de cada una de las regiones incluidas en el estudio.

Estación climatológica	Altura sobre el nivel del mar (m)	Precipitación histórica media (mm)	Precipitación durante la época* de cultivo de la papa en 2001(mm)	Temperatura media histórica (°C)	Temperatura media durante la época* de cultivo de la papa en 2001 (°C)
CODAGEM Metepec, Estado de México	2240	827	676	13.0	14.9
San Rafael, Galeana, N. L.	1714	432	294	16.0	20.8
Toluca de Gpe., Estado de México	2480	609	434	13.7	14.2
La Sandía, León, Gto.	1753	659	741	19.1	20.0
Tapalpa, Jal.	1850	914	832	16.3	17.4
Navojoa, Son.	780	400	4	25.1	19.4

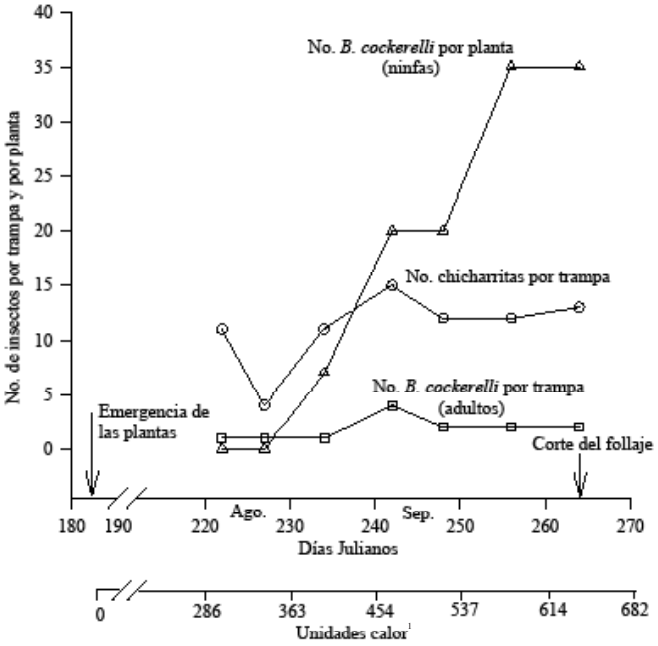
observadas en el follaje. Esto se explica, si se considera que en Sonora la papa se cultiva durante el ciclo otoño-invierno; en esta época, las temperaturas son más bajas que en el verano, cuando generalmente se tienen días con temperaturas superiores a los 38 °C. Se ha reportado que esta temperatura es el límite de sobrevivencia del insecto (List, 1939); por lo tanto, es de esperarse que los primeros insectos detectados en el cultivo de papa en Sonora provengan de otros cultivos.

En todas las regiones se encontraron a los insectos vectores de los fitoplasmas que causan la PMP, ya sea el psílido de la papa o chicharritas, también se encontraron plantas con fitoplasmas, lo cual confirma que la enfermedad y sus vectores están ampliamente distribuidos en las principales zonas productoras de papa en México.

Dinámica poblacional de chicharritas y *B. cockerelli*

En Metepec la población de psílidos adultos capturados en las trampas se mantuvo relativamente constante durante el ciclo del cultivo, con un máximo de cuatro adultos por trampa en una semana (Figura 2). La población de ninfas de *B. cockerelli* presentes en las plantas se incrementó desde cero, en el inicio del ciclo, hasta 35 ninfas por planta al final del ciclo del cultivo. El lote donde estaban las trampas recibió aplicaciones semanales de insecticidas, cuya efectividad probablemente disminuyó conforme creció el follaje, ya que las ninfas del psílido de la papa generalmente se encuentran en el envés de las hojas inferiores y, por lo tanto, se hace más difícil alcanzarlas con el insecticida asperjado. Sin embargo, cuando no se aplican insecticidas, la población del psílido de la papa se incrementa rápidamente, como ocurrió en un lote adjunto de papa, en el que se dejaron de aplicar insecticidas en los últimos 45 días del ciclo del cultivo y en el que se llegaron a observar hasta 230 ninfas de *B. cockerelli* por planta. Otro factor que probablemente influyó en el incremento de la población en las últimas etapas de desarrollo de las plantas, fue la preferencia del psílido de la papa por plantas adultas que adquieren coloraciones amarillas, las cuales atraen a los insectos según se ha demostrado con el uso de trampas amarillas (Mohammad, 1999).

En Metepec, la población de chicharritas capturadas en las trampas (Figura 2) se mantuvo constante durante el ciclo del cultivo. La población no fue muy alta, sin embargo, las poblaciones bajas también pueden representar un riesgo debido a la gran movilidad de las chicharritas ya que éstas son transmisoras de los fitoplasmas causantes de la PMP.



[1]Unidades calor calculados con temperatura base °C.

Figura 2. Fluctuación poblacional de diversas especies de chicharritas y de *Bactericera cockerelli* Sulc. capturados en trampas pegajosas amarillas durante el ciclo del cultivo de papa en Metepec, Estado de México, durante 2001.

Los datos de la Figura 2 fueron colectados durante el ciclo de cultivo de la papa en Metepec, aunque también se hicieron observaciones durante todo el año. En invierno, en ausencia del cultivo, se encontraron psílidos en plantas de chile manzano cultivado en los patios de las casas. Durante la primavera y parte del verano, cuando todavía no se hacen extensivas las siembras de papa, *B. cockerelli* se ha localizado en especies de solanáceas silvestres como *Saracha jaltomata* Schltdl. y *Physalis* sp. Durante el ciclo de otoño-invierno en el municipio de Valle de Bravo, Estado de México, se han detectado hasta 160 ninfas por planta en parcelas de papa sin un control eficiente de insectos. Esta información evidencia la presencia de *B. cockerelli* durante todo el año en el citado Valle.

En la Figura 2 se observa que durante la época de cultivo de la papa en Metepec se llegaron a acumular 640 Unidades Calor. Considerando que el umbral mínimo para el desarrollo de *B. cockerelli* es de 7 °C, se ha calculado que este insecto requiere de 356 Unidades Calor para completar su ciclo de huevo a adulto (Maya *et al*., 2003), por lo que se supone que durante el período de desarrollo de las plantas deberían de tenerse 1.8 generaciones. Sin embargo, en la misma figura se observa un rápido incremento de la población de ninfas, el cual no corresponde a un aumento de una sola generación. Esto indica que durante el ciclo de desarrollo de las plantas existió una constante inmigración de adultos de *B. cockerelli* que ovipositaron en las plantas y dieron origen a nuevas generaciones.

En lo que respecta a la localidad de El Cristal, San Rafael, Nuevo León (Figura 3), se observó una caída inicial en el número de insectos adultos de *B. cockerelli* capturados y posteriormente un incremento hasta sus niveles iniciales. La población de chicharritas se mantuvo relativamente constante. En Arteaga, Coahuila y San Rafael, Nuevo León, la población de *B. cockerelli* se monitoreó durante el invierno y con sorpresa se observó que en algunas trampas amarillas se capturaron hasta 60 adultos por día por trampa. Las trampas se colocaron en la maleza que crece en las orillas de los terrenos donde se sembró papa. Esto es un indicio de la capacidad de sobrevivencia de *B. cockerelli* durante el invierno en algunas áreas de los estados de Coahuila y Nuevo León, así como del riesgo de reiniciar el parasitismo del cultivo de papa durante el siguiente ciclo agrícola.

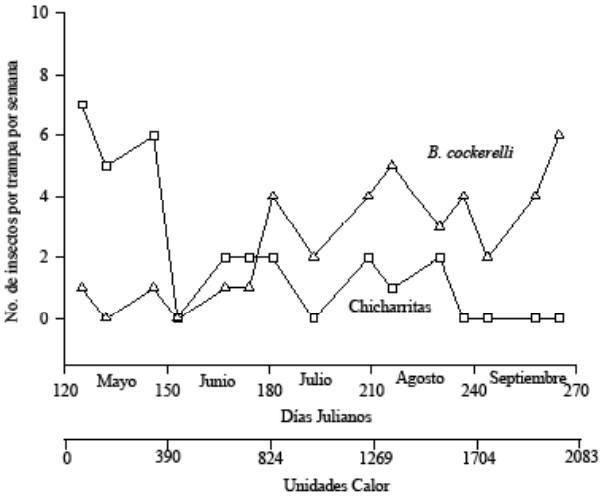


Figura 3. Fluctuación poblacional de insectos adultos de diversas especies de chicharritas y de *Bactericera cockerelli* Sulc. capturados en trampas pegajosas amarillas durante el ciclo vegetativo de papa en San Rafael, Nuevo León, durante 2001.

Considerando las Unidades Calor acumuladas durante la época del cultivo de la papa en San Rafael, era de esperarse que ocurrieran 5.8 generaciones de *B. cockerelli*; sin embargo, el número de insectos adultos capturados fue casi el mismo al principio y al final del ciclo del cultivo y, por lo tanto, no reflejó el aumento de su población. Probablemente la captura de insectos adultos en trampas pegajosas amarillas no sea la mejor forma de monitorear los cambios en su población, lo cual se apoya en los resultados obtenidos en Metepec (Figura 1), en donde el muestreo de ninfas en las plantas se incrementó constantemente, mientras que el número de insectos adultos permaneció relativamente constante.

Con base en la información anterior se pueden hacer algunas consideraciones prácticas relacionadas con el manejo de la PMP: a). La mayor población de insectos vectores en lugares calidos y con baja precipitación sugiere evitar la siembra de papa en regiones y épocas propicias para el desarrollo de estos insectos, b). Se debe considerar la topografía de la región, ya que los lugares con gran variación en altitud permiten la siembra de la papa en diferentes épocas, pero facilitan la reproducción y movilización de los insectos vectores y c). La posibilidad de confundir los síntomas de fitoplasmas con otros agentes causales, indica la necesidad de realizar análisis de fitoplasmas y de otros microorganismos para definir las causas y poder planear un control eficiente.

CONCLUSIONES

En todas las regiones productoras de papa muestreadas se detectaron plantas con fitoplasmas, resultando positivas 34% de las muestras colectadas.

Los vectores de la PMP se encontraron presentes en casi todas las regiones productoras de papa estudiadas, con excepción de Tapalpa, Jalisco, en donde no se encontró *B. cockerelli* y sólo bajas poblaciones de chicharritas.

Se observaron mayores poblaciones de insectos vectores en las regiones con mayor temperatura; sin embargo, hubo otros factores como la presencia de otros cultivos hospederos que pueden influir en la aparición de insectos en los cultivos de papa.

El monitoreo de *B. cockerelli* se debe hacer con base en el conteo de ninfas en las plantas. La captura de insectos adultos en trampas pegajosas amarillas se debe utilizar sólo para detectar el arribo de las primeras generaciones que indique la necesidad de iniciar la aplicación de insecticidas.

LITERATURA CITADA

Almeyda L., I. H. 1997. Detección molecular de fitoplasmas y su uso en el diagnóstico del amarillamiento letal del cocotero. Tesis de Doctorado. Universidad Autónoma de Nuevo León. División de Estudios de Postgrado. San Nicolás de los Garza, N. L., México. 88 p.

Almeyda L., I. H.; Rocha P., M. A. y Piña R., J. 1998. Diagnóstico molecular del amarillamiento letal: Su aplicación en estudios epidemiológicos. *In*: INIFAP (ed.). Memorias Conferencias Magistrales Primera Reunión Nacional de la Palma de Coco. Acapulco, Guerrero, México. p. 99-111.

Almeyda L., I. H.; Rubio C., O. A. y Zavala Q., T. 1999. Determinación de la implicación de fitoplasmas con la expresión sintomatológica de punta morada en papa (*Solanum tuberosum* L.). *In*: IV Simposio de Ciencia y Tecnología. Desarrollo Agropecuario. Secretaría de Educación Pública, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. Monterrey, Nuevo León. p. 45.

Almeyda L., I. H.; Rocha P., M. A.; Piña R., J. and Martínez S., J. P. 2001. The use of polymerase chain reaction and molecular hybridization for detection of Phytoplasma sp. in different plant species in Mexico. Rev. Mex. Fitopatol. 19:1-9.

Almeyda L., I. H.; Sánchez S., J. A. y Garzón T., J. A. 2004. Detección molecular de fitoplasmas en papa. *In*: XXI Semana Internacional del Parasitólogo. Memorias del Simposio Punta Morada de la Papa. Buenavista, Saltillo, Coahuila. P. 4-13.

Andersen, M. T.; Beever, R. E.; Sutherland, P. W. and Forster, R. L. S. 2001. Association of "*Candidatus* Phytoplasma australiense" with sudden decline of cabbage tree in New Zeland. Plant Dis. 85:462-469.

Arslan, A.; Bessey, P. M.; Matsuda, K. and Oebker, N. F. 1985. Physiological effects of psyllid (*Paratrioza*

cockerelli Sulc.) on potato. Amer. Potato J. 62:9-22.

Asscherman, E.; Bokx, J. A.; Brinkman, H.; Bus, C. B.; Hostma, P. H.; Meijers, C. P.; Mulder, A.; Scholte, K.; Turkensteen, L. J.; Wustman, R. and Van der Zaag, D. E. 1996. Potato diseases. NIVAA (Netherlands Potato Consultive Institute). Deen Haag, Holland. p. 52.

Cadena H., M. A. y Galindo A., J. 1985. Reducción de la incidencia de la "Punta Morada de la Papa" por medio de fechas de siembra, genotipo de la planta y aplicación de insecticidas. Rev. Mex. Fitopatol. 3(2):100-104.

Cadena H., M. A. 1987. Efecto de genotipos de plantas, aplicaciones de antibióticos e insecticidas en el control de la "Punta Morada de la Papa". Agric. Téc. Méx. 13(1):3-13.

Cadena H., M. A. 1999. Potato purple top in Mexico: III. Effects of plant spacing and insecticide application. Rev. Mex. Fitopatol. 17(2):91-96.

Cadena H., M. A.; Guzmán P., I. R.; Díaz V., M.; Zavala Q., T. E.; Magaña T., O. S.; Almeyda L., I. H.; López D., H.; Rivera P., A. y Rubio C., O. A. 2003. Distribución, incidencia y severidad del pardeamiento y la brotación anormal en los tubérculos de papa en Valles Altos y Sierras de los estados de México, Tlaxcala y el Distrito Federal, México. Rev. Mex. Fitopatol. 21(3):248-259.

Carter, R. D. 1950. Toxicity of *Paratrioza cockerelli* Sulc. to certain solanaceus plants. Ph. D. Dissertation. University of California, USA. 129 p.

Cevallos M., F.; Gutiérrez M., H.; Alvarado G., O. G. y Valdéz L., C. G. 2001. Aplicación de PCR para el diagnóstico de "Punta Morada" de la papa (*Solanum tuberosum* L.). Memorias del XXVIII Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana de Fitopatología. Resumen F-29. Querétaro, Qro., México.

Cranshaw, W. S. 1993. Annotated bibliography of potato/tomato psyllid, *Paratrioza cockerelli* Sulc. (Homoptera: Psyllidae). Colorado State University, Fort Collins. Agricultural Experiment Station. USA. 52 p. (Bulletin TB93-5).

Garzón T., J. A.; Becerra F., A.; Marín, A.; Mejía, A. C. y Byerly M., F. 1992. Manejo integrado de la enfermedad "permanente del tomate" en El Bajío. *In*: Urias M., C.; Rodríguez M., R. y Alejandre A., T. (eds.). Áfidos como vectores de virus en México. Contribución a la Ecología y Control de Áfidos en México. Colegio de Postgraduados, Centro de Fitopatología. Montecillos, Estado de México. p. 116-128.

Garzón T., J. A.; Bujanos M., R.; Velarde F., S.; Marín J., A.; Parga T., V. M.; Aviles G., M. C.; Almeyda L., I. H.; Sánchez S., A. J.; Martínez C., J. L. y Garzón C., J. A. 2004. *Bactericera* (*Paratrioza*) *cockerelli* Sulc., vector de fitoplasmas en México. *In*: Flores O., A.; Gallegos M., G. y García M., O. (eds.). Memorias del Simposio Punta Morada de la Papa. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. p. 64-83.

Gundersen, D. E. and Lee, M. I. 1996. Ultrasensitive detection of phytoplasmas by nested-PCR assays using two universal primers pairs. Phytopathologia Mediterranea 35:144-151.

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), 2005. ERIC III. Extractor Rápido de Información Climática. Versión 1.0.

Lee, M. I.; Hammond, R. W.; Davis, R. E. and Gundersen, D. E. 1993. Universal amplification and analysis of pathogen 16S rDNA for classification and identification of mycoplasmalike organisms. Phytopathology 83:834-842.

Leyva L., N. E. y Martínez S., J. P. 2001a. PCR "nested" o anidado en la detección molecular de fitoplasmas relacionados con la punta morada de la papa. *In*: Sociedad Mexicana de Fitopatología (ed.). Memorias del curso: Fitopatología Molecular. Querétaro, Qro., México. p. 1-18.

Leyva L., N. E. y Martínez S., J. P. 2001b. Detección, caracterización y aspectos ecológicos de fitoplasmas asociados a enfermedades de la papa. *In*: Memorias del XXVIII Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana de Fitopatología. Resumen F-85. Querétaro, Qro., México.

Leyva L., N. E.; Ochoa S., J. C.; Leal K., D. S. and Martínez S., J. P. 2002. Multiple phytoplasmas associated with potato diseases in Mexico. Can. J. Microbiol. 48:1062-1068.

List, G. M. 1939. The effect of temperature upon egg deposition, egg hatch, and nymphal development of *Paratrioza cockerelli* Sulc. J. Econ. Entomol. 32:30-36.

Maramorosch, K. 1998. Current status of potato purple top wilt. Inter. J. Trop. Plant Dis. 16:61-72.

Maya H., V.; Ramírez O., J.; Cortéz O., R.; Vega M., R. y Moreno Ch., G. 2003. Manejo integrado del pulgón saltador en jitomate en el estado de San Luis Potosí. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Palma de la Cruz. San Luis Potosí, México. (Folleto Técnico No. 22).

Mohammad A., A. 1999. Integrated pest management of tomato/potato psyllid, *Paratrioza cockerelli* Sulc. (Homoptera: Psyllidae) with emphasis on its importance in greenhouse grown tomatoes. Ph. D. Dissertation. Colorado State University. Fort Collins, Colorado State, USA. 72 p.

Munyaneza, J. E. 2005. Purple top disease and beet leafhopper transmitted virescence agent (BLTVA) phytoplasma in potatoes of the Pacific Nothwest of the Uited States. *In*: Haverkort, A. J. and Struik, P. C. (eds.). Potato in progress, science meets practice. Proceedings of the Potato Congress. Emmeloord, The Netherlands. p. 211-220.

Okuda, S.; Prince, J. P.; Davis, R. E.; Dally, E. L.; Lee, I. M.; Morgen, B. and Kato, S. 1997. Two groups of phytoplasmas from Japan distinguished on the basis of amplification and restriction analysis of 16S rDNA. Plant Dis. 81:301-305.

Schaal, L. A. 1938. Some factors affecting the symptoms of the psyllid yellows disease of potatoes. Am. Potato J. 15(7):193-212.

Smart, C. D.; Schneider, B.; Bomquist, C. L.; Guerra, L. J.; Harrison, N. A.; Ahrens, U.; Lorenz, K. H.; Seemüller, E. and Kirkpatrick, B. C. 1996. Phytoplasma-specific PCR primers based on sequences of the 16-23S rRNA spacer region. Appl. Environ. Microbiol. 62:2988-2993.

University of California (UC). 1986. Integrated pest management for potatoes in the western United States. University of California. Publications Division of Agriculture and Natural Resources. Oakland, California, USA. (UC Publication No. 3316).